



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝVOJ NÁSTROJŮ PRO APLIKACI VÁLEČKOVÁNÍ

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR ROLLER BURNISHING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Nosek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jiří Nosek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2015/16

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Vývoj nástrojů pro aplikaci válečkování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce obsahuje rešerši problematiky válečkování se zaměřením na postupný vývoj nástrojů. Do práce budou zahrnuty jak postupné změny v konstrukci nástrojů v průběhu času, tak aktuální změny a moderní trendy válečkovacích nástrojů. Součástí je i obecné ekonomické srovnání.

Cíle bakalářské práce:

- metody válečkování
- varianty válečkovacích nástrojů
- moderní trendy v konstrukci válečkovacích nástrojů
- zhodnocení a obecné doporučení

Seznam literatury:

KLOCKE, Fritz. Manufacturing Processes 2: Grinding, Honing, Lapping. 1.,. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. ISBN 978-3-540-92258-2.

VAJSKEBR, Jiří a Zdeněk ŠPETA. Dokončování a zpevňování povrchu strojních součástí válečkováním. Praha: SNTL, 1984.

ZEMČÍK, Oskar. Změna vlastností oběžných drah valivých ložisek po aplikaci válečkování. Brno, 2001. ISBN 80-214-2131-2. Disertační práce. VUT Brno.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky. Brno: CERM, s.r.o., 2003, 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá beztržiskovou dokončovací metodou válečkováním. Obsahuje základní popis metody válečkování, přehled nástrojů, změny a vynálezy v konstrukci nástrojů a moderní trendy ve válečkování. Závěr tvoří ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

válečkování, hlazení povrchů, zpevnění povrchů, kalibrace povrchů, válečkovací nástroje

ABSTRACT

This bachelor work deals with chipless utilization method of roller brushing. It includes basic description methods of roll brushing, overview of tools, changes and innovations in tool design and modern trends in rolling. Conclusion deals with the economic evaluation.

Key words

Rolling, surface smoothing, surface hardening, surface calibration, roller-burnishing tools

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

NOSEK, Jiří. *Vývoj nástrojů pro aplikaci válečkování*. Brno 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 33 s. 0 příloh. Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vývoj nástrojů pro aplikaci válečkování** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jiří Nosek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Oskar Zemčíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT

PROHLÁŠENÍ

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 Metody Válečkování.....	10
1.1 Podstata válečkování.....	10
1.2 Technologické metody válečkování	10
1.2.1 Hlazení povrchu obrobku.....	11
1.2.2 Zpevnění povrchové vrstvy obrobku	12
1.2.3 Kalibrace rozměrů	13
1.3 Způsob působení tvářecí síly při válečkování	14
1.3.1 Metoda statického válečkování.....	14
1.3.2 Metoda dynamického válečkování	14
2 Varianty válečkovacích nástrojů	15
2.1 Válečkovací nástroje pro vnější válcové plochy	15
2.2 Válečkovací nástroje pro vnitřní válcové plochy	16
2.3 Válečkovací nástroje pro rovné plochy	17
2.4 Jednoválečkové nástroje	17
2.5 Modulární válečkové nástroje	18
2.6 Diamantové válečkovací nástroje	18
2.7 Hydrostatické válečkovací nástroje	19
3 Vývoj válečkovacích nástrojů	20
3.1 Přípravek na válečkování vnitřních válcových stěn těles (1963)	20
3.2 Sdružený nástroj pro opracování a zpevnění povrchu otvorů (1969).....	21
3.3 Nástroj pro statické válečkování strojních součástí (1979)	22
3.4 Zařízení pro válečkování rovinných ploch (1980)	23
3.5 Zařízení na válečkování přechodových rádiusů (1982)	24
3.6 Nástroj pro statické válečkování rotačních ploch (1984)	25
3.7 Dynamická válečkovací hlava zejména pro válečkování neprůchozích otvorů (1985)	26
4 Moderní trendy v konstrukci válečkovacích nástrojů.....	28
5 Ekonomické zhodnocení	29
ZÁVĚR.....	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	32

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	33
---	----

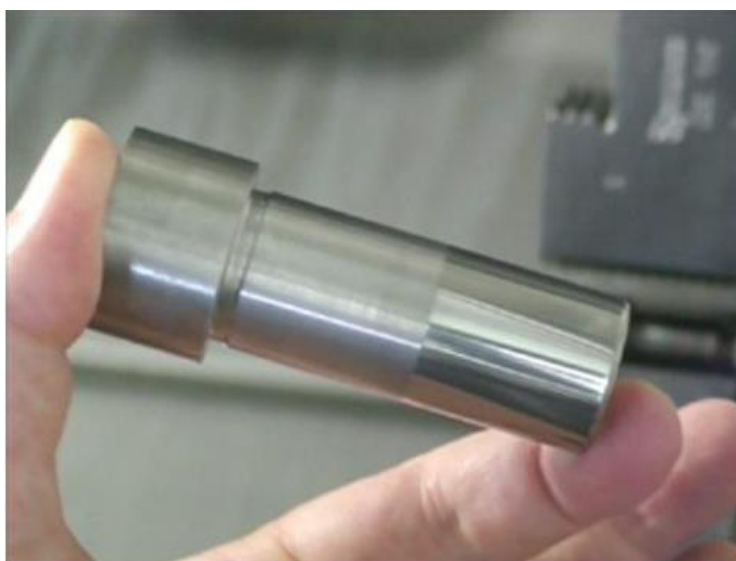
ÚVOD

Ve strojírenství se pro dokončovací operace používá mnoho různých technologií. Mezi které patří například: broušení, lapování, brokování, válečkování, superfinišování, honování, atd. Tyto technologie zvyšují jakost povrchu a tím umožňují větší spolehlivost a efektivitu výsledných zařízení.

Válečková metoda je jedna z významných dokončovacích operací, která prochází významným rozvojem. Válečkové nástroje zlepšují svoji konstrukci a tím umožňují významné zlepšení v produktivitě práce.

Válečkování je dokončovací metoda obrábění, která zlepšuje kvalitu povrchu, aniž by docházelo k úběru materiálu. Povrchy ošetřené tímto postupem se vyznačují vysokou přesností a kvalitou povrchu. Podstata této metody spočívá v přitlačení tvářecího tělesa k povrchu součásti. Tvářecí prvek vyvíjí tlak překračující mez kluzu materiálu a tím přesouvá materiál z vrcholů nerovností do rýh mezi nimi.

Válečková technologii lze použít na velké většině strojů, ať už se jedná o obvyčejné soustruhy či frézky, tak speciální stroje jako jsou například karuselové soustruhy. Opracovávat lze jak plochy vnější tak vnitřní. Na obrázku 1 je ukázka rozdílu mezi povrchem válečkovaným a neválečkovaným.

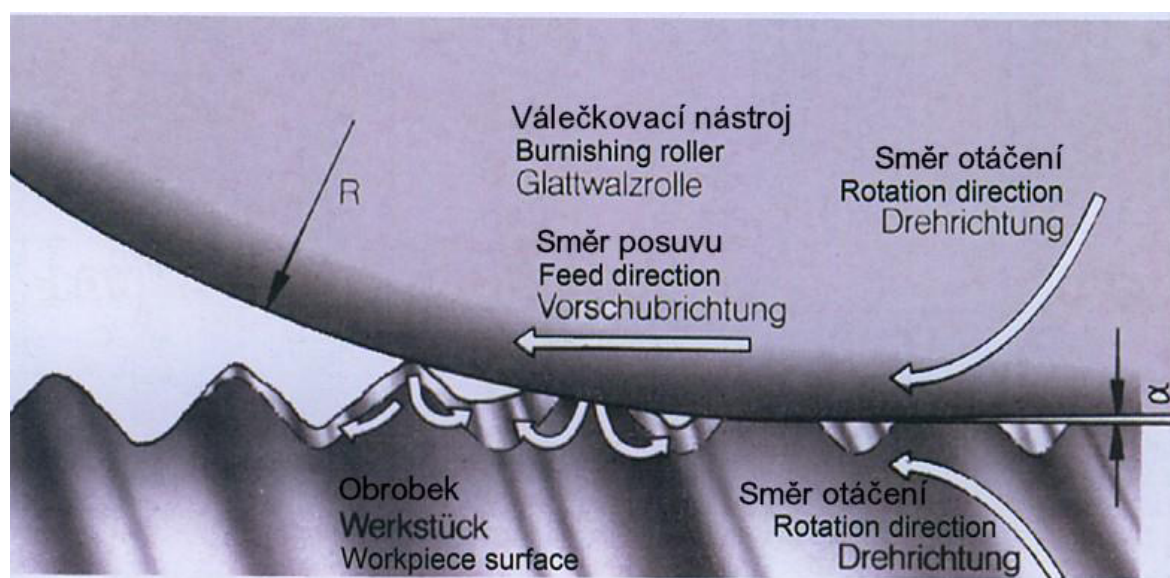


Obr. 1 Ukázka rozdílu mezi neválečkovaným a válečkovaným povrchem [4]

1 METODY VÁLEČKOVÁNÍ

1.1 Podstata válečkování

Válečkování je beztržková forma obrábění, při které se vtlačuje tvrdší těleso (váleček, kulička, hnací trn) do předem připraveného třískově obráběného (soustružení, vystružování, apod.) povrchu obrobku. Tato dokončovací metoda má za účel zlepšit kvalitu povrchu. Drsnost povrchu po válečkování se může zlepšit až na $0,1 \mu\text{m}$. Při válečkování vzniká díky tlaku tvrdé části nástroje tlakové pnutí, které má za následek plastickou deformaci na povrchu součásti. Vrcholy mikro nerovností jsou deformovány tak aby materiál zaplnily prohlubně mezi nimi. Materiál se posouvá po skluzových rovinách. [1,2,3]



Obr. 1.1 Schématické změny objemu a geometrie při válečkování. [7]

1.2 Technologické metody válečkování

Technologické metody válečkování se volí podle požadavků, které má splňovat plocha po dokončení operace.

- Vyhlazení povrchu obrobku (snížení výšky mikronerovností po předcházejícím obrábění)
- Zpevnění povrchové vrstvy obrobku (dosažení vyšší tvrdosti, pevnosti a meze únavy)
- Kalibrace rozměrů obrobku (získání požadovaných úchylek polohy, tvaru a rozměru)

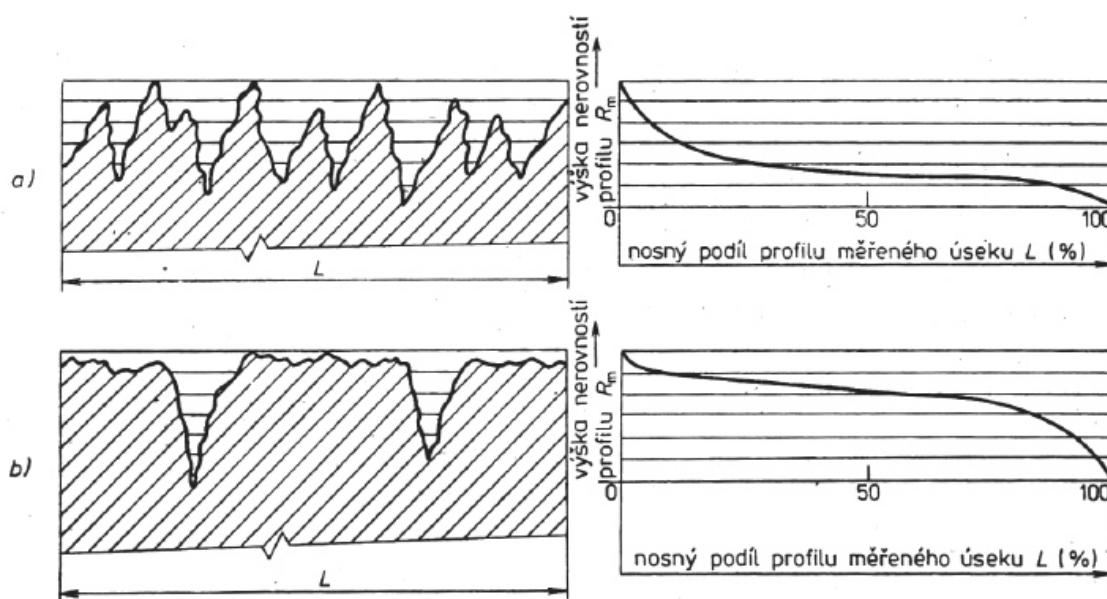
Uvedené změny na povrchu obrobku se neprojevují samostatně, ale nastává určitý přesah. Například při užití válečkování pro vyhlazení povrchu, se projeví jak kalibrace i zpevňování. Vedlejší účinky válečkování jsou ve velké míře žádoucí. [1,2]

1.2.1 Hlazení povrchu obrobku

Významným účinkem při použití technologie válečkování je vyhlazení povrchové vrstvy obrobku a tím snížení mikronerovností pozůstalých po předchozím obrábění. Objemové a geometrické změny dosažené při plastické deformaci za studena vznikají díky tlaku způsobeným tvářecím nástrojem na povrch součásti.

Na obrázku 1.2 jsou znázorněny profily drsnosti povrchu po obrábění a po válečkování. Je vidět výrazný rozdíl. Nosný podíl se také liší a to tím že u válečkovací metody je výrazně vyšší nežli u třískové formy obrábění.

V tabulce 1.1 jsou zapsány nosné podíly a drsnosti povrchů při různých způsobech opracování obrobků.



Obr. 1.2 Charakteristický tvar skutečných profilů drsnosti ploch a nosné křivky těchto ploch [1]

a) plochy obrobené třískově

b) plochy válečkované

Konečná drsnost válečkované plochy je závislá na několika činitelích a podmínkách:

- počáteční drsnost povrchu a tvar mikronerovností po předchozím zpracování,
- mechanické vlastnosti materiálu,
- velikost vyvinutého tlaku mezi válečkem a povrchem,
- pracovní posuv válečkovacího nástroje,
- tvar a kvalita plochy válečkovacího nástroje,
- rychlost válečkování,
- způsob chlazení a mazání,

Tab. 1.1 Velikost nosného podílu při různých technologiích obrábění [1]

Způsob obrábění	Drsnost Ra (μm)	Nosný podíl (%)
hrubé soustružení a vrtání	6 až 25	10
soustružení na čisto	2,5 až 10	25
jemné soustružení a soustružení	1 až 4	40
broušení na čisto	0,6 až 2,5	40
jemné broušení, honování, lapování	0,16 až 0,6	80
superfinišování	0,04 až 0,1	90
válečkování	0,1 až 0,4	80 až 90

V tabulce 1.2 jsou uvedeny drsnosti povrchů dosažené za pomoci dokončovacích metod.

Tab. 1.2 Drsnosti ploch při různých technologiích dokončování [1]

Dokončovací metoda	Drsnost Ra (μm)
válečkování	0,1 až 0,8
leštění	0,1 až 0,4
honování	0,1 až 0,4
lapování	0,1 až 0,4
broušení	0,3 až 0,9
vystružování	0,9 až 1,6
vyvrtávání	1,1 až 1,6
soustružení + smirkování	1 až 1,6
soustružení	1,6

1.2.2 Zpevnění povrchové vrstvy obrobku

Tato metoda intenzivně zpevňuje povrch strojní součásti. Dochází k mechanickým změnám do hloubky až několika milimetrů. Do zpevněné vrstvy se vnesou příznivá tlaková pnutí, která zabraňují vzniku koroze, šíření trhlin a snižují vliv mikrovrubů.

Na obrázku 1.3 je vidět závislost průběhu tvrdosti povrchu na hloubce. Díky válečkování lze zvýšit tvrdost povrchu o 20 až 100% někdy i více. [1]

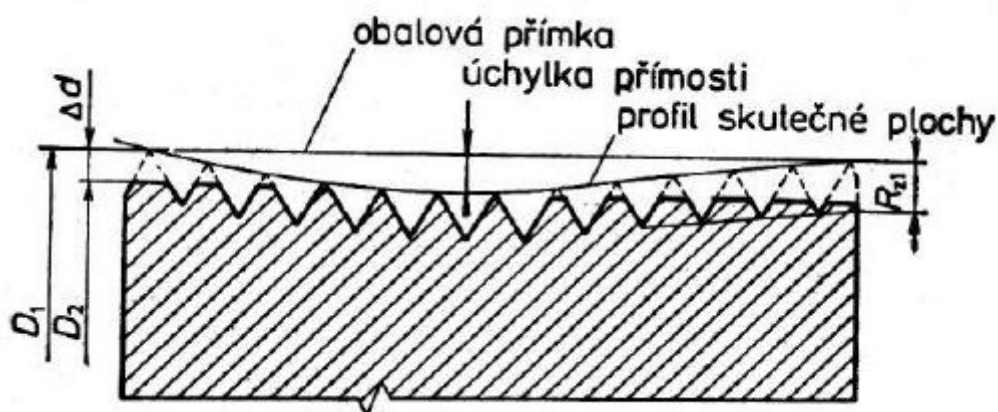


Obr.1.3 Charakteristický průběh tvrdosti povrchu v závislosti na hloubce [1]

1.2.3 Kalibrace rozměrů

Touto metodou se snažíme dosáhnout požadovaných úchylek polohy, tvaru, a předepsané tolerance rozměrů.

Metodu kalibrování válečkováním používáme většinou u sériové nebo hromadné výroby. Je nutno zajistit lepší technologické podmínky oproti dvěma předcházejícím metodám. Seřízení stroje musí být přesné a pracovní podmínky konstantní. Důležitá je též tuhost stroje. Technologie kladé zvýšené nároky na kvalitu polotovarů před válečkováním. [1]



Obr. 1.4 Schéma kalibrace plochy s úchyly přímosti

R_{z1} výchozí drsnost plochy, D_1 výchozí průměr, D_2 průměr po válečkování

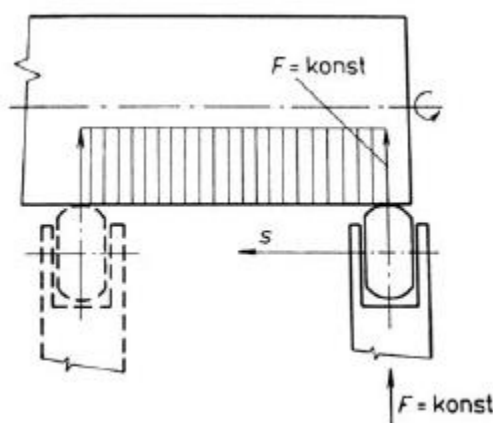
Δd hodnota stlačené plochy (kalibrace) [1]

1.3 Způsob působení tvářecí síly při válečkování

Jednotlivé metody válečkování se vzájemně odlišují časovým průběhem velikosti a tvářecí síly, která působí na povrch zpracovávané součásti. Jsou dvě základní metody a to statické válečkování a dynamické válečkování.

1.3.1 Metoda statického válečkování

Při statickém válečkování je tvářecí prvek v neustálém kontaktu s tvářeným povrchem. Velikost tvářecí síly může být jak konstantní tak proměnlivá. Tvářecí síla je vyvozena za pomoci pružiny nebo hydraulicky. Na obrázku je vidět schéma statického válečkování s konstantním průběhem tvářecí síly.



Obr.1.5 Schéma statického válečkování vnější válcové plochy se stálým průběhem síly F (s – posuv nástroje) [1]

1.3.2 Metoda dynamického válečkování

Metoda dynamického válečkování se v několika důležitých ohledech liší od statické metody. Jedním z hlavních rozdílů je ten, že tvářecí prvek není v nepřetržitém kontaktu s tvářenou součástí. K dotyku dochází na krátký okamžik a za vysoké rychlosti. Dynamické válečkování lze přirovnat k tváření rázem. Důležitým parametrem při této metodě je frekvence s jakou dopadá tvářecí prvek na pbráběnou součást.

Dynamické válečkování se využívá zvláště pro hlazení a zpevňování povrchu, a to z důvodu dosažení velké hloubky zpevnění materiálu při menším statickém zatížení válečkové součásti i zařízení stroje. [1]



Obr.1.6 Nástroj pro dynamické válečkování [5]

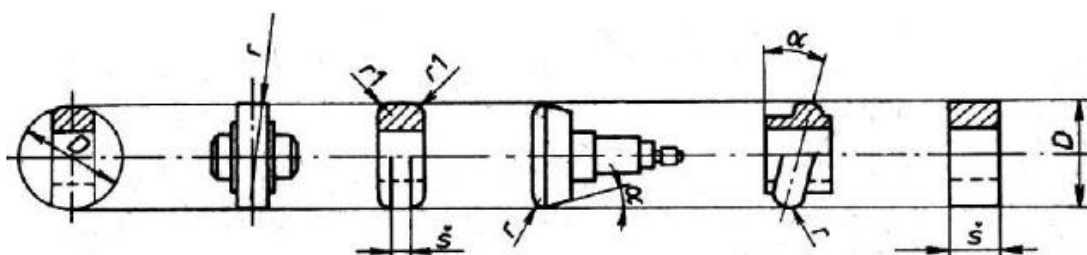
2 VARIANTY VÁLEČKOVACÍCH NÁSTROJŮ

Válečkovací nástroje lze dělit podle plochy na kterou jsou použity, nebo typu válečku:

- Nástroje pro vnější válečkování válcových ploch,
- Nástroje pro vnitřní válečkování válcových ploch,
- Nástroje pro válečkování rovných ploch,
- Jedno válečkové nástroje,
- Modulární válečkovací nástroje,
- Diamantové válečkovací nástroje,
- Hydrostatické válečkovací nástroje,

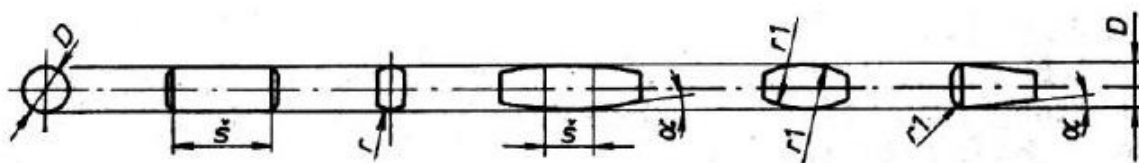
Válečkovací nástroje se také dělí podle tvářecích tělísek do tří skupin:

- Tvářecí tělíska nesená na středovém čepu (kotouče, kuličky, válečky, kladky)
obr. 2.1.



Obr. 2.1 Tvářecí tělíska nesená na středovém čepu [1]

- Tvářecí tělíska odvalující se po vodící dráze (soudečky, kuličky, válečky, kuželíky)
obr. 2.2.



Obr.2.2 Tvářecí tělíska odvalující se po vodící dráze [1]

- Tvářecí tělíska zmíněná v předchozích skupinách použita pro dynamické válečkování a hladicím válečkování.

2.1 Válečkovací nástroje pro vnější válcové plochy

Pro válečkování vnějších válcových ploch je možné využít nástroje s jedním nebo více válečky. Na obrázku 2.3 je vidět dynamický válečkovací nástroj s ukázkou výsledku válečkovací operace. Vnější válečkování lze provádět u součástek od průměru 1 mm. Pro mazání se používá emulze nebo olej.



Obr. 2.3 Vnější válečkovací nástroj s ukázkou výsledku válečkování [4]

2.2 Válečkovací nástroje pro vnitřní válcové plochy

Při volbě nástroje pro vnitřní válcové plochy zaleží na průchodnosti díry. Nástroje pro slepé a průchozí díry se liší. Na obrázku 2.4 je vidět rozdíl mezi nástrojem pro slepou a průchozí otvor. [1]



Obr.2.4 Válečkovací nástroje Superroll pro vnitřní díry slepé (vpravo) a průchozí (vlevo) [8]

2.3 Válečkovací nástroje pro rovné plochy

Rovinné plochy, u kterých je požadována malá drsnost povrchu se nejčastěji dokončují za pomoci metod jako je broušení. Při použití metody válečkování dosáhneme kromě velmi dobré jakosti povrchu také jeho zpevnění. Povrch získá vyší otěruvzdornost. Na obrázku 2.4 je ukázka válečkovacího nástroje pro rovné plochy a obrázku 2.5 je znázorněno jeho upnutí na frézce. [1]



Obr.2.4 Válečkovací nástroj Superroll pro rovné povrchy[8]



Obr. 2.5 Válečkvací nástroj upnutý na frézce [8]

2.4 Jednoválečkové nástroje

Tyto nástroje patří mezi statické a používají se na opracování vnějších i vnitřních ploch. Nástroje mohou být osazeny více než jedním válečkem, ale v záběru je vždy jen jeden. Na obrázku 2.6 se nachází ukázka jednoválečkových nástrojů.



Obr.2.6 Jednoválečkový nástroj [8]

2.5 Modulární válečkové nástroje

Modulární nástroje mají proti předchozím nástrojům několik výhod. Mohou válečkovat jak vnější tak vnitřní plochy díky odnímatelné hlavě. Na obrázku 2.6 je vidět modulární nástroj s možností nastavení hlavy v úhlu 45° nebo 90°.



Obr. 2.7 Modulární válečkovací nástroj [5]

2.6 Diamantové válečkovací nástroje

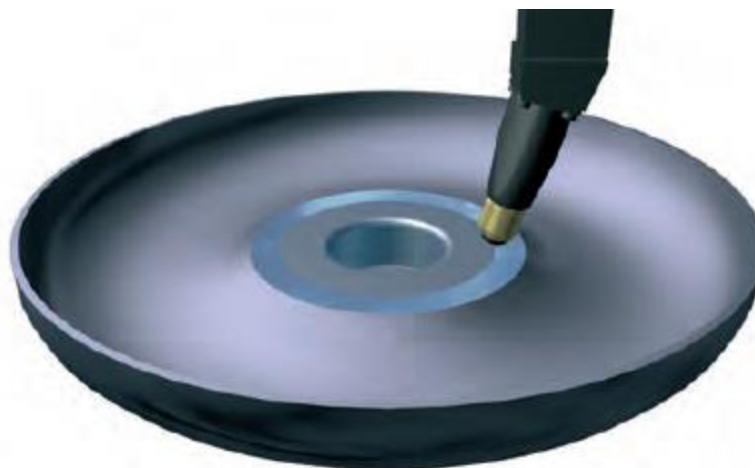
Diamantové válečkovací nástroje umožňují opracovávat tvrdé materiály do 60 HRC. Tyto nástroje se používají jak na vnější tak vnitřní plochy. Diamantové nástroje mají velmi vysokou životnost, po opotřebení se přebroušuje anebo vyměňuje pouze špička. Diamantová špička musí být odpružená. Na obrázku 2.8 je ukázka variabilního diamantového nástroje, umožňujícího nastavení hlavy ve 240° a opracování materiálů až do 60 HRC. [4]



Obr. 2.8 Variabilní diamantový nástroj pro opracování povrchů [4]

2.7 Hydrostatické válečkovací nástroje

Hydrostatické válečkovací nástroje se liší od předchozích nástrojů tím, že tvářecí síla působící na kuličku je vyvolána tlakem kapaliny. Sílu tlačící tvářecí prvek k ploše obrobku lze regulovat tlakem emulze. Další výhodou hydrostatického válečkování je nízké tření vyvolané hydrostatickým ložiskem, které umožňuje pohyb kuličky ve všech směrech za vysokých rychlostí. Materiály, které je možné obrábět tímto nástrojem, mohou mít tvrdost až 65 HRC. Na obrázku 2.9 je ukázka nástroje a plochy kterou je možno opracovat tímto nástrojem. [9,10]



Obr. 2.9 Ukázka hydrostatického nástroje [9]

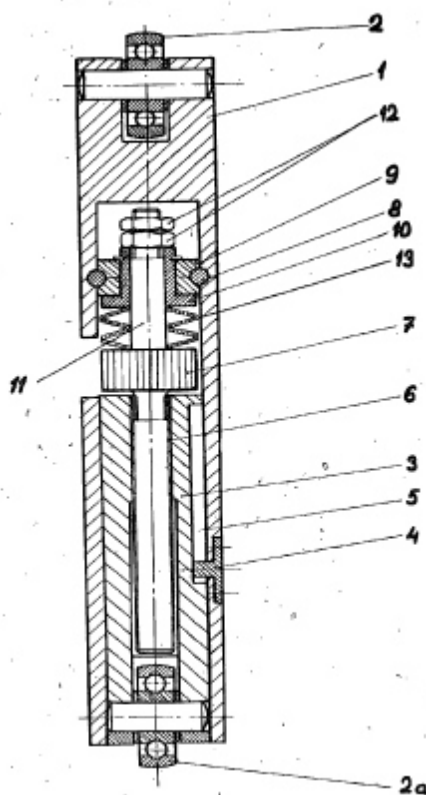
3 VÝVOJ VÁLEČKOVACÍCH NÁSTROJŮ

Válečkovací nástroj prošel mnoha úpravami, aby lépe odpovídal možnostem a požadavkům jednotlivých metod a strojů. Moderní nástroje jsou mnohem sofistikovanější a výkonnější než jejich předchůdci.

3.1 Přípravek na válečkování vnitřních válcových stěn těles (1963)

Vynálezce: Ing. Bořivoj Volný

Nástroj na obrázku 3.1 je konstruován tak aby jej bylo možno použít v nožových hlavách vyvrtávacích a karuselových soustruhů. Tento nástroj řeší problém požadované hladkosti a zpevnění povrchu v kusové výrobě velkých součástí. Výrazným způsobem šetří čas. V tabule 3.1 jsou zapsány jednotlivé části a dílce nástroje. [11]



Obr. 3.1 Přípravek na válečkování vnitřních válcových stěn těles [11]

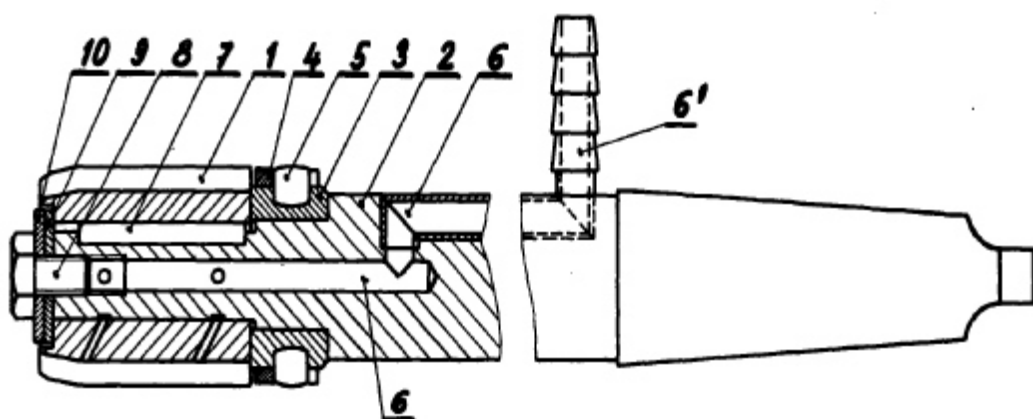
Tab. 3.1 Seznam dílů a částí nástroje [11]

Číslo	Díl nebo část nástroje	Číslo	Díl nebo část nástroje
1	tělo nástroje	7	stavěcí šroub s drážkovanou hlaví
2	volně otočná válečková kladka	8	zajišťovací kolík
2a	volně otočná válečková kladka	9	vložka
3	kluzně uložené nosné smykadlo	10	pouzdro
4	pero	11	čep stavěcího šroubu
5	pružina	12	matice stavěcího šroubu
6	závitová část		

3.2 Sdružený nástroj pro opracování a zpevnění povrchu otvorů (1969)

Vynálezci: ing. Zdenek Špeta, Josef Tůma, František Soukup, Josef Sedlecký

Tento nástroj sdružuje jemné opracování a následné zpevnění otvorů. Výhodou tohoto nástroje je sloučení loupacího výstružníku s válečkovací hlavou. V přední části nástroje se nachází výměnný loupací výstružník za níž se nachází v ose výměnná válečkovací hlava. Nástroj obsahuje vlastní vedení chladicího a mazacího media. Díky výměnným hlavám slouží držák pro celou sadu. Na obrázku 3.2 je vidět nástroj a v tabulce 3.2 jsou vyjmenovány jednotlivé díly a části. [12]



Obr. 3.2 Sdružený nástroj pro opracování a zpevnění povrchu otvorů[12]

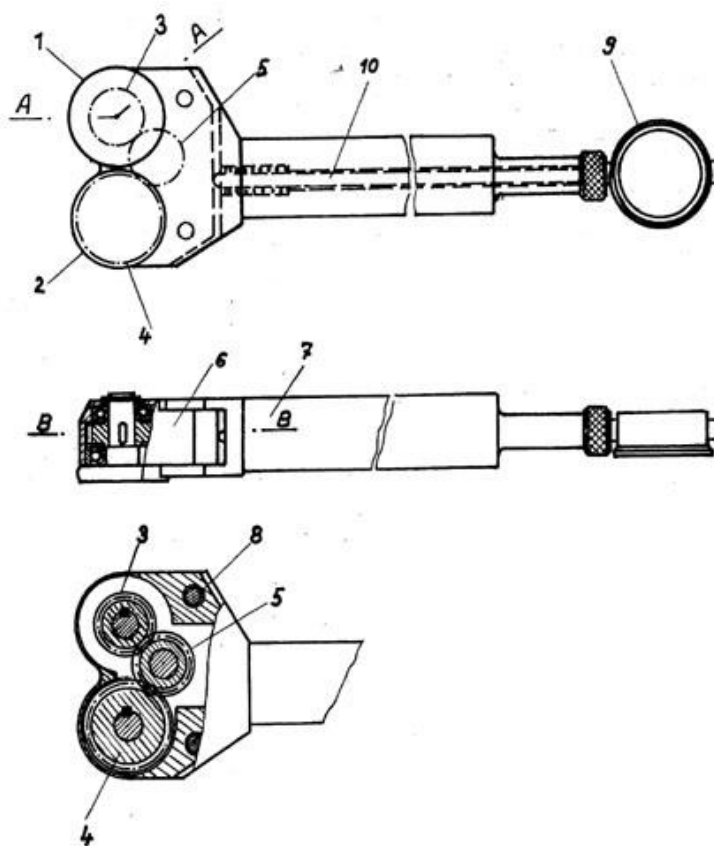
Tab. 3.2 Seznam dílů a částí nástroje [12]

Číslo	Díl nebo části nástroje
1	loupací výstružník
2	držák
3	kroužek
4	klec
5	válečky
6	vedení chlad. A maz. kapaliny
6'	přívod chlad. A maz. kapaliny
7	pero
8	šroub
9	pryžová podložka
10	podložka

3.3 Nástroj pro statické válečkování strojních součástí (1979)

Vynálezci: ing. Jiří Vajskebr, ing. Jaromír Čubr, ing. Zdeněk Špeta

Tento nástroj na obrázku 3.3 zlepšuje účinnost tím, že spojuje účinky tlaku a částečného smyku tvářecího elementu po povrchu válečkované součásti. Princip nástroje spočívá v tom, že na podélné ose otáčení tvářecích kotoučů jsou pevně uložena převodová kola. Tyto kola zabírají se třetím převodovým kolem, které slouží k přenosu otáček mezi tvářecími válečky se zvoleným převodovým poměrem a shodným smyslem otáčení. Tvářecí válečky nemusejí mít stejnou velikost. Pomocí převodových kol mohu nastavit poměr: $i=1$ nebo $i \neq 1$. Jednotlivé části nástroje jsou zapsány v tabulce 3.3.[13]



Obr. 3.3 Nástroj pro statické válečkování strojních součástí [13]

Tab. 3.3 Seznam dílů a částí nástroje [13]

Číslo	Díl nebo část nástroje	Číslo	Díl nebo část nástroje
1	tvářecí kotouč	6	nosné těleso
2	tvářecí kotouč	7	upínací držák
3	ozubené kolo	8	pružné silentbloky
4	ozubené kolo	9	cejchovaný číslíkový úchylkoměr
5	ozubené kolo	10	spojovací tyč

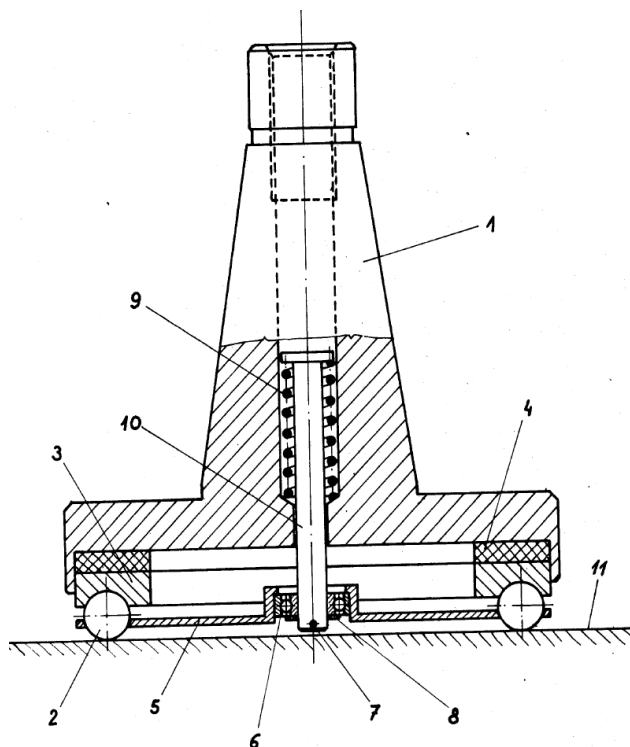
3.4 Zařízení pro válečkování rovinných ploch (1980)

Vynálezci ing. Bořivoj Volný, Zdeněk Krhánek, JUDr. Jaromír Volný

Nástroj na obrázku 3.4 se upíná na frézovací a vyvrtávací stroje. Tělo nástroje je tvořeno kuželovou stopkou s pružně uloženým válečkovacím elementem. Jednotlivé části nástroje jsou zapsány do tabulky 3.4.

Účelem nástroje je zlepšení jakosti povrchu válečkované součásti. Toho je dosaženo pomocí mezi kruhové pružné podložky, na které je uložen opěrný kroužek. V čele protilehlém k ploše dosedající na podložku je vytvořena oběžná dráha kuliček, jejichž polohu zajišťuje vedení v kleci. Klec je spojena s ložiskem nasazeném na spodní konec táhla.

Výhodou tohoto nástroje na rovinné plochy oproti dříve používaným řešením je to, že se namísto obvykle používaných kladek, používají jako tvářecí prvky kuličky. Kuličky jsou normalizované a dají se snadno vytřídit v potřebné toleranci. Dotyková plocha mezi tvářecím prvkem a povrchem je malá a tím se redukuje potřebná přitlačná síla. Díky menší síle je také menší zatížení na vřetenu stroje. [14]



Obr. 3.4 Nástroj pro válečkování čelních ploch [14]

Tab. 3.4 Seznam dílů a částí nástroje [14]

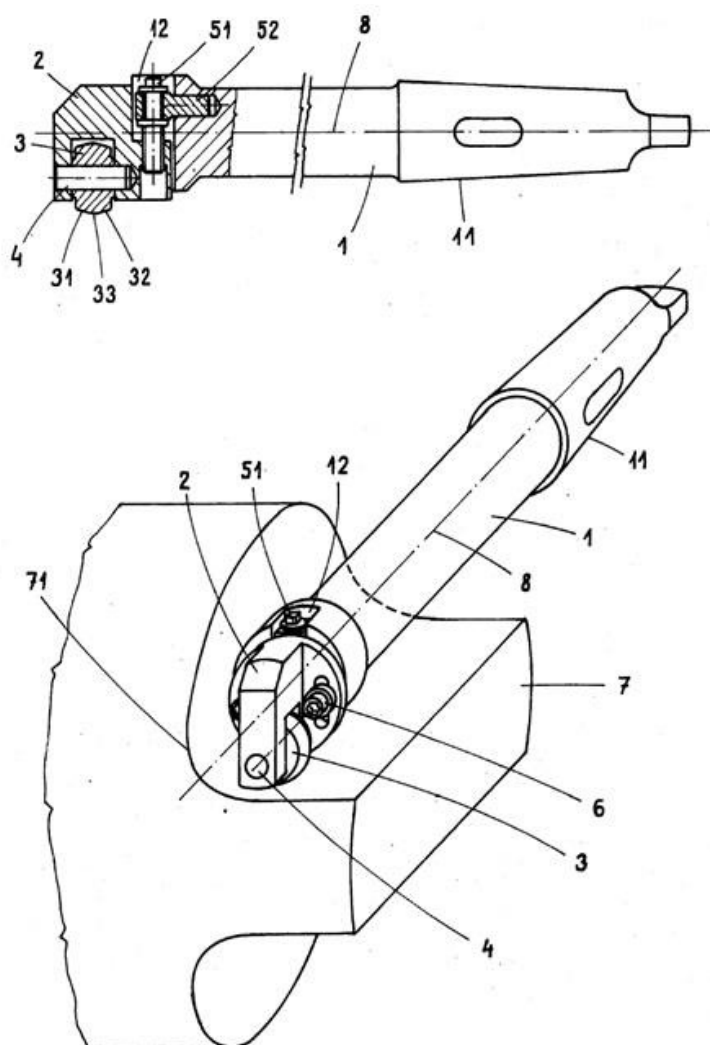
Číslo	Díl nebo část nástroje	Číslo	Díl nebo část nástroje
1	tělo nástroje	7	závlačka
2	kuličky	8	podložka
3	opěrný kroužek	9	pružina
4	mezikruhová pružná podložka	10	táhlo
5	klec	11	válečkováná plocha
6	ložisko		

3.5 Zařízení na válečkování přechodových rádiusů (1982)

Vynálezci: ing. Bořivoj Volný, JUDr. Jaromír Volný, Josef Raujdus

Účelem nástroje na válečkování přechodových rádiusů je zvýšit únavovou pevnost u hmotných a rozměrných dílců. U značně namáhaných dílců se přechodová oblast vytváří předpětí a tím se významně ovlivní únavová pevnost v kritickém průřezu. Válečkování lze použít pouze u přechodů, které mají souvislý kruhový tvar např. u sazených hřídelů. U nepravidelných přechodů se používá metoda temování nebo otryskávání. Nevýhodou posledních dvou metod je obtížnost udržení tloušťky a rovnoměrnosti zpevnění povrchové vrstvy. Temování ani otryskávání nedosahuje hladkosti povrchu pro detekci únavových trhlin.

Podstatou nástroje na obrázku 3.5 je tvářecí kladka opatřená na jedné straně náběhovým kuželem, který je uložen na otočném čepu upevněném v hlavici. Tato hlavice je uložena posuvně a stavitelně v drážce, která se nachází radiálně na čele trnu s nástrojovým kuželem. Osy čepu i trnu jsou rovnoběžné. Jednotlivé části nástroje jsou zapsány v tabulce 3.5. [15]



Obr. 3.5 Nástroj pro válečkování přechodových rádiusů [15]

Tab. 3.5 Seznam dílů a částí nástroje [15]

Číslo	Díl nebo část nástroje
1	trn
2	hlavice
3	tvářecí kladka
4	čep
6	zajišťovací šrouby
7	obráběný kus
8	osa
11	nástrojový kužel
12	radiální drážka
31	náběhový kužel
32	náběhový kužel
33	anuloidní plocha
51	Přestavovací šroub
52	čepová matice
71	přechodový rádius

3.6 Nástroj pro statické válečkování rotačních ploch (1984)

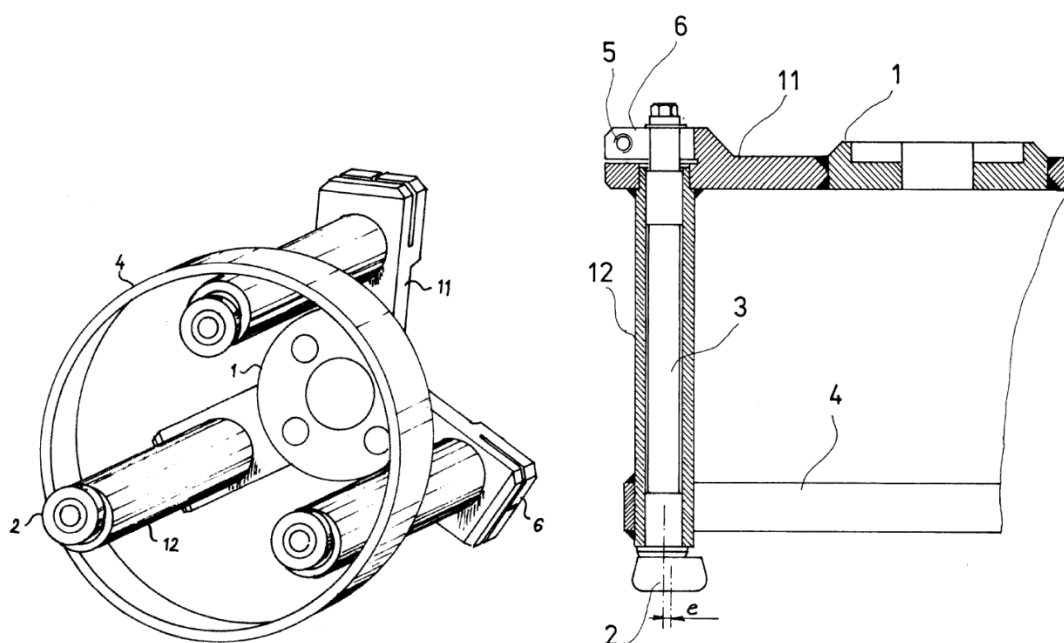
Vynálezci: ing. Jaromír Čubr, ing. Josef Šedivý

Nástroj se skládá z tvářecích koučů uložených na pracovních čepech, které jsou planetově uspořádány po obvodu nosiče, jenž je tvořen unášecem a pouzdry.

Rotační části a rozměrné čepy umístěné na větších dílcích ať již rotačního či nerotačního charakteru by nebylo možno brousit bez speciálního zařízení. Z toho důvodu se zpravidla opracovávali smirkováním. Tato metoda je ale málo efektivní.

Nástroj na obrázku 3.6 je konstruován z tvářecích kladek, jenž jsou excentricky a otočně uloženy na čepy upevněném v pouzdře, které je krakorcovitě vetknuté do unášeče. Volné konce pouzder jsou propojeny za pomoci obruče.

Rotace výstředných čepů vzhledem k pouzdrům je možno v malém rozsahu měnit rozměr i přítlak tvářecích elementů. Pouzdra, která jsou propojena obručí, jejíž pružná deformace vyvolává přítlak tvářecích elementů na předmět. Reakce z tvářecích kotoučů se přenáší do obruče a tím se vzájemně eliminují. Díky tomu je vřetenem méně namáháno. Všechny části nástroje jsou zaznamenány v tabulce 3.6. [16]



Obr.3.6 Náskres nástroje pro statické válečkování rotačních ploch[16]

Tab. 3.6 Seznam dílů a částí nástroje [16]

Číslo	Díl nebo část nástroje
1	společný nosič
2	tvářecí kladky
3	nosné čepy
4	pružná obruč
5	šroub
6	kleština
11	unášče
12	pouzdra

3.7 Dynamická válečková hlava zejména pro válečkování neprůchozích otvorů (1985)

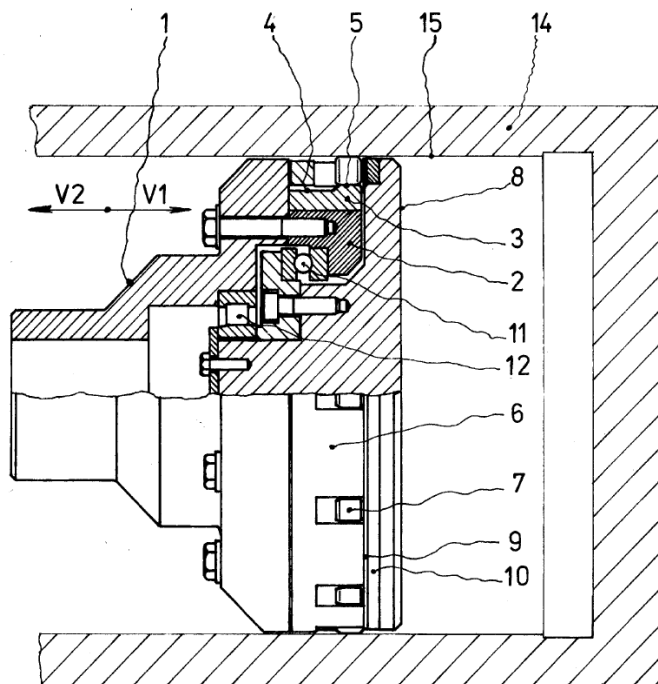
Vynálezce: ing. Svatopluk Škobrtal

Tento nástroj je vhodný pro dokončovací operaci válečkování neprůchozích děr zejména válců. Doposud používané válečkovací hlavy používají princip, ve kterém tvářecí tělesa např. válečky se odvalují po válcovém nebo kuželovém povrchu.

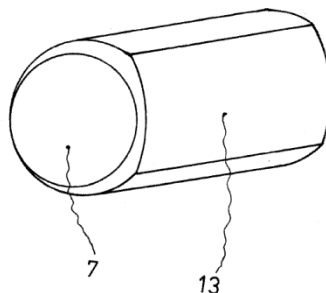
Nevýhodou většiny tehdy známých dynamických válečkovacích hlav používaných k zušlechtění vnitřních válcových ploch je jejich určení k opracování vnitřních ploch průchozích otvorů. Další nevýhodou byla skutečnost, že se vyráběly většinou jako pevné, bez možnosti změny pracovního průměru válečkování. V případě, že byli možností změny průměru vybaveny, nástroj se stal velice složitý a náročný na výrobu. Pevná konstrukce hlav neumožňovala pracovní pohyb jen v jednom směru, čímž vznikl problém s odvodem mikro třísek.

Uvedené nevýhody pomáhá řešit válečková hlava na obr. 3.7 S popsanými díly a částmi v tab. 3.7. Změna na tomto nástroji spočívá v to, že tvářecí tělíska nekruhového

průřezu obr. 3.8 se odvalují po kruhové válečkové dráze a tím způsobují dynamické rázy působící na povrch. Tvářecí tělíska jsou axiálně posouvána směrem pohybu nástroje, díky pružnému opěrnému kruhu čímž dochází pouze k odvalování tělísek. Výsledkem je velice kvalitní povrch. Důležitým přínosem dynamické válečkovací hlavy je vyšší životnost nástroje i spolehlivost, nižší výrobní náročnost. [17]



Obr. 3.7 Dynamická válečkovací hlava neprůchozích otvorů [17]



Obr. 3.8 Tvářecí tělísko [17]

Tab. 3.7 [17]

Číslo	Díl nebo část nástroje	Číslo	Díl nebo část nástroje
1	tělo nástroje	9	pružná podložka
2	náboj válečkované dráhy	10	pružný opěrný kruh
3	kruhová válečková dráha	11	ložisko
4	průměr	12	ložisko
5	průměr	13	plocha
6	koš tvářecích tělísek	14	těleso válce
7	tvářecí tělíska	15	tvářená plocha
8	opěrný kus		

4 MODERNÍ TRENDY V KONSTRUKCI VÁLEČKOVACÍCH NÁSTROJŮ

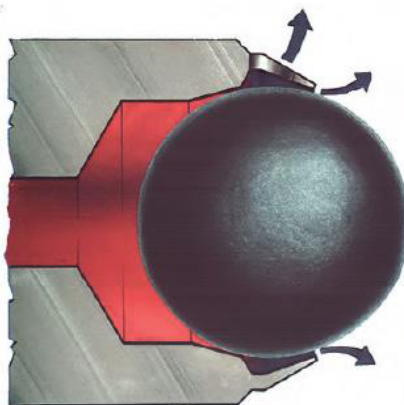
Dokončovací metoda válečkování zvyšuje svoji důležitost tím, že dokáže plnohodnotně nahradit většinu ostatních dokončovacích metod.

Mezi nejvíce se rozvíjející válečkovací nástroje patří hydrostatické. Tyto nástroje vyvolávají tlak na tvářecí prvek, kterým je kulička za pomoci tlaku kapaliny. Tvářecí sílu lze regulovat tlakem použité tekutiny, kterou je ve většině případů emulze. Složení emulze tvoří 3–8% oleje rozpuštěného ve vodě. Na obrázku 4.1 je znázorněn hydrostatický válečkovací nástroj. Tekutina, která ho maže a chladí je vyobrazena za pomoci šipek. Na obrázku 4.2 jsou ukázány dva případy použití hydrostatických nástrojů na vnější a vnitřní plochy

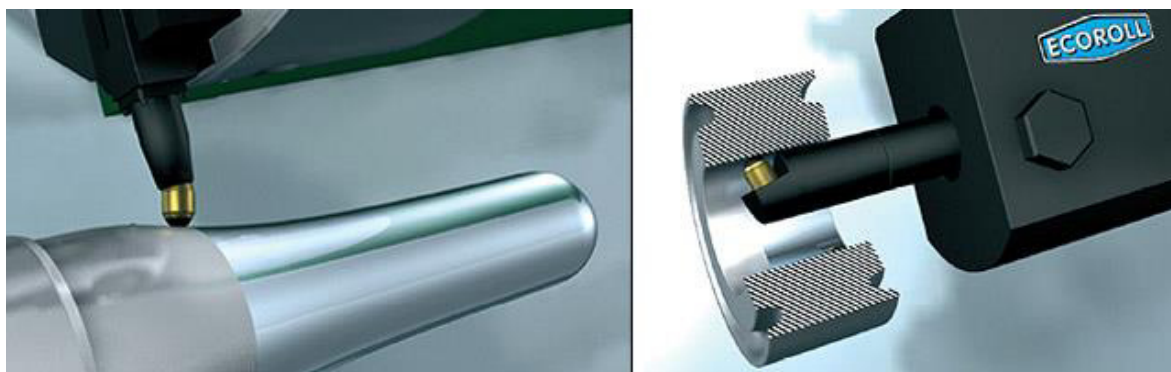
Hydrostatické nástroje mají několik výhod:

- tvářecí těleso (kulička) se může pohybovat ve všech směrech,
- nástroj vyniká dlouhou životností a snadnou údržbou,
- tvářecí síla je konstantní úměrná tlaku tekutiny,
- kapalina tryská okolo tvářecího prvku, a tím snižuje tření a chladí nástroj i plochu obrobku,

Mezi přední výrobce a inovátory hydrostatických nástrojů patří tyto firmy: Ecoroll, Molart a Lambda Technologies Grup. [9,10]



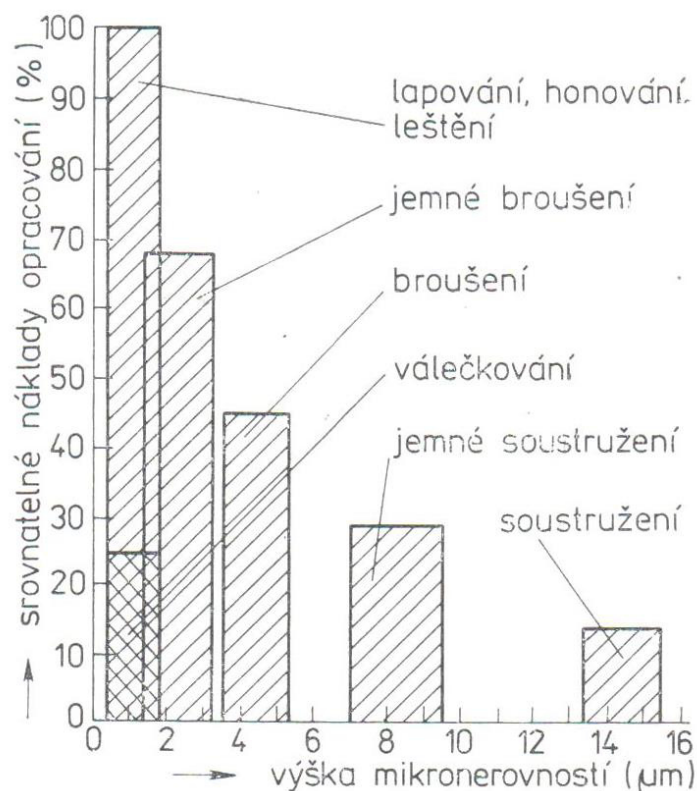
Obr. 4.1 Schéma hydrostatického nástroje [9]



Obr. 4.2 Ukázka použití hydrostatických nástrojů na vnější (vlevo) a vnitřní plochy (vpravo) [9]

5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Válečkovací technologie má několik výhod oproti jiným dokončovacíím metodám např. nevyžaduje speciální obráběcí stroj. Obvyklým strojem pro metodu válečkování jsou CNC soustruhy a frézky. V grafu na obr. 5.1 je znázorněno srovnání výrobních nákladů jednotlivých metod v závislosti na požadované drsnosti povrchu. [1]



Obr. 5.1 Srovnání výrobních nákladů jednotlivých metod v závislosti na dosažené drsnosti povrchu [1]

Hlavními výhodami metody válečkování jsou tyto:

- snížení strojních časů,
- zvýšení produktivity práce,
- omezení až odstranění tepelného zpracování,
- snížení nároků na strojní zařízení,
- úspora energie,
- beztržková dokončovací metoda,

Snížení strojních časů je dosahováno tím, že v některých případech se nepřenáší součást k jinému stroji a tím se sníží nevýrobní čas. Výrobní čas lze snížit použitím kombinovaných nástrojů či víceúrovňových nástrojů. Snížením strojních časů a zároveň zlepšením kvality povrchu se zvyšuje produktivita práce.

Tím že válečkování lze provádět na obyčejných strojích, se snižuje zátěž podniku, která vzniká v ostatních případech nutností zakoupení speciálních strojů. Energetická úspora nastává při odstranění energeticky náročné operace, jako je tepelné zpracování.

Válečkovací dokončovací metoda má jako beztržisková operace výhodu v tom že při obrábění není nutnost nechávat přídavek materiálu na tuto operaci. [1]

ZÁVĚR

Účelem této bakalářské práce bylo shrnutí problematiky válečkování se zaměřením na vývoj nástrojů. Písemné zdroje zabývající se tímto problémem jsou velmi omezené, protože nové publikace na téma válečkování nevycházejí. Celá práce je rozdělena do pěti základních bloků.

Prvním kapitola obsahuje principy technologie válečkování. Jsou zde rozděleny a vysvětleny základní technologie metody válečkování. Dále jsou metody válečkování děleny na statické a dynamické podle působení tvářecí síly na povrch součásti.

Druhá kapitola se zabývá dělením válečkových nástrojů do skupin. Jednotlivé typy nástrojů jsou popsány a vysvětleny. Zde použité nástroje vyrábějí firmy Ecoroll, Baublies a Sugino. Tyto firmy jsou významnými výrobci válečkovacích nástrojů.

Třetí kapitola se zaměřuje na vývoj válečkovacích nástrojů na území bývalého Československa. Tento vývoj je mapován za pomoci patentům vydaným v té době.

Čtvrtá kapitola ukazuje moderní trendy ve vývoji válečkovacích nástrojů. Především se zaměřuje na hydrostatické válečkování. Tyto nástroje mají velkou výhodu nad ostatními válečkovacími nástroji zejména v tom, že opracovávají materiály s tvrdostí až 65 HRC.

Pátá kapitola obsahuje ekonomické zhodnocení válečkovací metody a její srovnání s běžnými dokončovacími metodami. Jsou zmíněny hlavní výhody této dokončovací operace. Například snížení strojních časů, snížení výrobních nákladů, úspora energie.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Literatura:

1. VAJSKEBR, J. a ŠPETA, Z. Dokončování a zpevňování povrchu strojních součástí válečkováním. Praha: SNTL, 1984.
2. PÍŠKA, Miroslav, et al. Speciální technologie obrábění. 1. Brno: CERM, 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Elektronické zdroje:

3. HAVELKA, T. Obrábění válečkováním [online]. 2007 [cit. 2012-04-05]
URL: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-valeckovanim>>.
4. Baublies AG – firemní stránky [cit. 2016-05-06]
URL: <<http://www.baublies.com/en/index.html>>.
5. ALBA precision – firemní stránky [cit. 2016-05-06]
URL: <<http://albaprecision.cz/cz/portal/home/>>.
6. YAMASA - firemní stránky [cit. 2009-04-03]
URL:<http://www.yamasa.com.tr/eng/roll_burn.htm>.
7. WINTER SERVIS firemní stránky [cit. 2009-04-03]
URL: <<http://www.winter-servis.cz/index.php?page=ecoroll/index>>
8. SUGINO firemní stránky [cit. 2016-05-20]
URL: <<http://www.sugino.cz/index.php>>
9. ECOROLL firemní stránky [cit. 2016-05-23]
URL: <<http://www.ecoroll.de/en/ecoroll.html>>
10. LUCA, Liviu, Sorin NEAGU-VENTZEL a Ioan MARINESCU. Effects of working parameters on surface finish in ball-burnishing of hardened steels. *Precision Engineering* [online]. Elsevier Inc, 2005, **29**(2), 253-256 [cit. 2016-05-27]. URL: <<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0141635904000479>>

Patenty:

11. VOLNÝ, Bořivoj. *Přípravek na válečkování vnitřních válcových těles*. 1963. ČSSR. 111 280. Uděleno 1964. Zapsáno 1963.
12. ŠPETA, Zdeněk, Josef TŮMA, František SOUKUP a Josef SEDLECKÝ. *Sdružený nástroj pro opracování a zpevnění povrchu otvorů*. 1969. ČSSR. 137716. Uděleno 1970. Zapsáno 1969.
13. VAJSKEBR, Jiří, Jaromír ČUBR a Zdeněk ŠPETA. *Nástroj pro statické válečkování strojních součástí*. 1979. ČSSR. 213795. Uděleno 1984. Zapsáno 1979.
14. VOLNÝ, Bořivoj, Zdeněk KRHÁNEK a Jaromír VOLNÝ. *Zařízení pro válečkování rovinných ploch*. 1980. ČSSR. 231262. Uděleno 1987. Zapsáno 1980.
15. VOLNÝ, Bořivoj, Jaromír VOLNÝ a Josef RAUJDUS. *Zařízení na válečkování přechodových rádiusů*. 1982. ČSSR. 224330. Uděleno 1984. Zapsáno 1982.
16. ČUBR, Jaromír a Josef ŠEDIVÝ. *Nástroj pro statické válečkování rotačních ploch*. ČSSR. 239879. Uděleno 1987. Zapsáno 1984.
17. ŠKOBRTAL, Svatopluk. *Dynamická válečkovací hlava zejména pro válečkování neprůchozích otvorů*. 1985. ČSSR. 256662. Uděleno 1989. Zapsáno 1985.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol/Zkratka	Jednotka	Popis
D1	mm	počáteční průměr
D2	mm	průměr po válečkování
F	N	tvářecí síla
HRC		tvrdost materiálu dle Rockwela
Ra	μm	drsnost povrchu
R _{z1}	μm	počáteční drsnost povrchu
s	m/min	posuv nástroje
Δd	mm	hodnota stlačené plochy

